

Sistemas de Comunicaciones y Redes de Datos en Smart Grids, una Revisión al Estado del Arte

R. Herrera¹ L. Herrera²

¹Empresa Eléctrica Quito

E-mail: rherreralara@gruposidiec.com

²Escuela Politécnica Nacional, EPN

E-mail: lherreralara@gruposidiec.com

Resumen

Las smart grids han sido concebidas como la combinación de la red eléctrica tradicional (generación, transmisión, distribución, y comercialización, incluyendo las energías alternativas) con las redes de comunicaciones electrónicas. Este concepto revoluciona la administración, supervisión, y mantenimiento de la red eléctrica, volviéndola inteligente ante sobrecargas, caídas, apagones, caídas de tensión disminuyendo los tiempos de respuesta ante estos problemas. En este trabajo se analizan las tecnologías de redes de datos y comunicaciones electrónicas implicadas en este nuevo concepto de gestión eficiente de la electricidad. En la primera sección se abordan conceptos introductorios para entender las diferencias entre las redes eléctricas tradicionales y las smart grids, luego se realiza un análisis de las arquitecturas y requerimientos de diseño de una smart grid, para en la siguiente sección elaborar una revisión de las tecnologías de comunicaciones actualmente usadas en smart grids, para finalmente analizar los retos de diseño, líneas de investigación y estandarización actuales en las tecnologías de smart grids. En la última sección se anexan las conclusiones de la realización de este trabajo.

Palabras clave— power communications, smart grid, networking, communications, communication networks, communications protocols, grid standards.

Abstract

Smart grids have been conceptualized as a combination of traditional power grid (generation, transmission, distribution and merchandizing, including alternative energies) with communications networks. This concept revolutionizes the management, monitoring, and maintenance of the power grid, making it smart against overload, falls, blackouts, brownouts decreasing response times to these problems. In this paper the data networking technologies and electronic communications involved in this new concept of efficient management of electricity are discussed. In the first section, introductory concepts to understand the differences between traditional electric grids and smart grids are addressed, then an analysis of the architecture and design requirements of smart grid is performed, in the following section a review of the technologies communications currently used in smart grids is performed and finally the challenges of design, research directions and standardization of smart grids technologies are addressed. In the last section the conclusions of this work are appended.

Index terms— power communication, smart grid, networking, communications, communications networks, communications protocols, grid standards.

Recibido: 22-10-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Herrera, R. y Herrera, L. (2016). "Sistemas de Comunicaciones y Redes de Datos en Smart Grids, una Revisión al Estado del Arte". Revista Técnica "*energía*". N°12, Pp. 313-320.

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

Las Smart Grids, redes eléctricas inteligentes, representan un paso adelante en la evolución de la gestión y administración de las redes eléctricas. El termino Smart engloba todo lo relacionado a la transferencia bidireccional de información relativa a mediciones y control entre subestaciones, estaciones de generación, redes de transmisión, redes de distribución y entre dispositivos en clientes domésticos y comerciales hacia el centro de control donde se realizan las operaciones inteligentes de control y administración sobre las redes eléctricas[1-3]. Este nuevo concepto, da paso a las redes eléctricas del futuro, las smart grids.

La palabra Smart añadida a las redes eléctricas tradicionales implica por tanto un elevado nivel de complejidad a la tecnología implicada en la gestión y administración de las redes eléctricas. El paso intermedio, los sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), se limitan al monitoreo y telecontrol de los elementos de maniobra en la red, telemedición y monitoreo. Las Smart Grids van mas allá, añadiendo la capacidad de predicción en el consumo de los clientes, gestión de generación en ultima milla y recomendación adicionales que optimizan el manejo de la energía eléctrica[2-5]. Todos estos objetivos se logran a través de una infraestructura inteligente de medición (AMI), conocimiento global del estado de la red en sus diferentes subestaciones de subtransmisión y distribución, integración de tecnologías de comunicación y transmisión digital de información (TICs), interoperabilidad entre tecnologías y finalmente respuesta eficiente a la demanda y eficiencia en el consumo de energía[6-11].

En este trabajo se aborda una revisión al estado del arte de uno de los puntos vertebrales del concepto de Smart Grid, las TICs. La transmisión eficiente, fiable y segura de la información a través de la infraestructura de la red eléctrica se han convertido en uno de los retos más ambiciosos a conseguir en este tipo de aplicaciones. Estas tres características eficiente, fiable y segura implican la compatibilidad directa de tecnologías de sensores y medición, técnicas avanzadas de control, interfaces de control mejoradas para el control y nuevos equipos electrónicos inteligentes integrados a la red. Todos estos detalles se abordan a continuación, desde una perspectiva técnica.

Los pormenores analizados se enfocan en la evaluación de la efectividad en sus distintas aplicaciones, ya sean estas a nivel de consumidor, a nivel local interno en subestaciones y centros de generación, o a nivel inter-subestación(o entre centros de control). Estos tres niveles se clasifican conceptualmente desde las redes de comunicaciones de datos en redes HAN (*Home Area Network*), LAN (*Local Area Network*) y WAN (*Wide Area Network*). A continuación se realiza un análisis comparativo de las bondades de las Smart Grids frente a las redes eléctricas tradicionales, luego se establece las características mínimas a cumplir para que una red eléctrica tradicional evolucione a ser una Smart Grid. En la siguiente sección se abordan de manera específica las tecnologías implicadas en redes HAN, LAN y WAN, haciendo especial énfasis en su uso y aplicaciones. Finalmente se anexan las conclusiones de la realización de este trabajo[3,5,7-9].

2. SMART GRIDS VS REDES ELECTRICAS TRADICIONALES

Las Redes Eléctricas Tradicionales desde que fueron concebidas han sufrido de varias limitaciones en su funcionamiento, tales como caídas del sistema, apagones, sobrecargas, aperturas imprevistas de reconectores, fallas mecánicas en disyuntores, errores en las lógicas de control, fallas en las protecciones, entre otras. Estas limitaciones disminuyen directamente la eficiencia de la generación, transmisión y la eficacia de la distribución de la energía eléctrica[10,11].

Una de las primeras soluciones a estos problemas fue la integración de equipos electrónicos al monitoreo y control de los componentes electromecánicos implicados en la generación, transporte y distribución de energía eléctrica. La automatización de estas etapas y el monitoreo a través de la red de datos en centros de control facilito el manejo, operaciones y administración de la red eléctrica, volviéndolo más eficiente. Estos sistemas son conocidos en conjunto como los sistemas SCADA, definidos por su aplicación y tecnología pueden interactuar entre sí a fin de aprovechar la información que brindan sobre el monitoreo de la red.

Los Sistemas Scada en la actualidad conjuntan nuevos estándares de adquisición de información sobre la red. El IEC 61850, DNP3, comunicaciones seriales y otras tecnologías han obligado a los estándares a adaptarse a estas necesidades y producir nuevas mejoras sobre los protocolos implicados en la transmisión de información sobre la red de datos.

Finalmente el paso hacia las Smart Grids se hace en base a una mayor interacción entre los actores implicados en la red eléctrica. La generación, transporte y distribución, en conjunto con la información de consumo y técnicas de predicción para un manejo eficiente de la demanda entran en escena, en esta nueva etapa. Las Smart Grids son compatibles con el manejo de las primeras aplicaciones de las tecnologías SCADA usadas en las redes eléctricas tradicionales tales como: el monitoreo y control sobre los sistemas de automatización en la distribución de la energía, los sistemas de administración de energía, los sistemas de control de demanda, la medición automática, añadiéndoles nuevas características y elementos adicionales de control y gestión [9,10].

Las nuevas funcionalidades y características que las Smart Grids poseen en comparación a la red eléctrica tradicional permiten acceder al control y manejo de dispositivos externos a las subestaciones y centrales de generación tales como reconectores y bancos de capacitores, además de otros elementos propios de la red eléctrica, el uso de sincrofasores, los nuevos dispositivos de medición inteligente. Adicionalmente una red eléctrica tradicional necesita de una infraestructura dedicada para realizar mediciones avanzadas sobre el sistema. Estos puntos son esenciales en el funcionamiento de las nuevas redes eléctricas inteligentes. Según la definición de la EISA (Energy Independence and Security Act) la definición formal de estas nuevas redes eléctricas, hace hincapié en la integración cada vez mas dedicada de tecnologías electrónicas digitales para la adquisición y transmisión de información de manera bidireccional entre la generación hacia los consumidores, a fin de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la red eléctrica, este es el cambio vertebral en las redes eléctricas tradicionales, lo cual vuelve tan importantes las tecnologías y sistemas de comunicaciones en su funcionamiento[8-11].

La EISA enumera formalmente una serie de diez características y funcionalidades esenciales en una

red eléctrica para que esta sea considerada Smart: (1) la inclusión de las tecnologías electrónicas para el control y administración de los elementos de la red eléctrica a través de las redes de comunicaciones de datos, (2) optimización dinámica de la red eléctrica de forma segura y robusta ante los ataques de red, (3) la inclusión del desarrollo de energías renovables en la generación y distribución de los recursos de la red, (4) respuesta a la demanda y eficiencia en el uso de recursos, (5) desarrollo e inclusión de tecnologías inteligentes, adquisición de información en tiempo real de manera automática, tecnologías de decisión inteligente en la operación y gestión física del consumo de dispositivos en el lado del cliente, monitoreo del estado, operación y gestión, sobre todos los dispositivos de la red y la automatización de la distribución de los recursos, (6) integración, del lado del cliente, de dispositivos inteligentes y de consumo eficiente de energía, (7) desarrollo e integración de dispositivos avanzados de almacenamiento de electricidad, control de transitorios, control de picos de señal, (8) Información continua a los clientes de su consumo en tiempo real, (9) desarrollo de nuevos estándares de sistemas y redes de comunicaciones que mejoren y garanticen altos niveles de interoperabilidad entre los elementos de la red eléctrica y los dispositivos en el lado del cliente y finalmente (10) la continua mejora de la estructura de la red eléctrica smart (Smart Grid) eliminando los requerimientos innecesarios para su adopción[7-11].

Finalmente en [2-4], el futuro de las Smart Grids bajo los preceptos anteriormente mencionados se avizora con una mayor participación de las tecnologías de la información, redes de comunicaciones y datos, lo cual facilite un nivel más alto de participación en la gestión y optimización de la red. La convergencia integral de la red de comunicaciones con la red eléctrica dará vía libre al nacimiento de nuevas tecnologías que optimicen el uso de la energía eléctrica, el manejo bidireccional de la información, entre la generación y el consumo permitirá el uso eficiente de todos los recursos de la red.

3. ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES EN SMART GRIDS Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

La arquitectura de las Smart Grids está compuesta por una mezcla compleja de sistemas que interaccionan entre sí como un solo gran sistema,

enfocado en el monitoreo y control inteligente de la demanda, optimización y distribución de los recursos de la red. En [2,11,15] se presenta de manera conceptual la arquitectura de la red inteligente de la siguiente manera: una red donde se concentran las subestaciones, etapas de generación, transmisión, oficinas de gestión de negocios, entre otros servicios. Esta red se encuentra potenciada a nivel de recursos por el empleo de nuevos medios de comunicaciones, entre los que destacan las redes ópticas de comunicaciones. Este tipo de medios de comunicación permiten la interconexión de cientos de equipos de conectividad, enrutadores y switches, así como también con otras redes funcionalmente similares en otras redes eléctricas. Adoptando el termino de redes WAN (Wide Area Network), las smart grids también hacen uso de este término, para hacer referencia al transporte de información entre localizaciones en amplias zonas geográficas[11,15]. Estas redes WAN en el mundo de las Smart Grids tienen como puntos terminales equipos electrónicos que se comunican con la red eléctrica por medio de comunicaciones inalámbricas o cableadas haciendo uso de protocolos típicamente usados en la automatización industrial, redes seriales, buses de campo, etc[5,15]. Estas redes, llamadas también redes de campo (FAN) forman los niveles más externos de la red.

Estructuralmente una Smart Grid está constituida por tres tipos de redes, las Redes WAN, formadas por muchas redes LAN, en su nivel interno, las Redes HAN y FAN en su nivel externo.

Las Redes WAN permiten intercambiar información entre los dispositivos electrónicos inteligentes (IEDs), sistemas SCADA, circuitos de monitoreo, subestaciones, reconectores, entre otros elementos de la red. Las Redes LAN manejan las comunicaciones entre equipos de medición, celdas de control, operación de disyuntores, bancos de capacitores, circuitos de video vigilancia y redes seriales de equipos de patio. Por último las redes HAN, se encargan de transportar toda la información relativa a los clientes. Esta interacción entre todas estas redes se muestra en la Fig. 1.

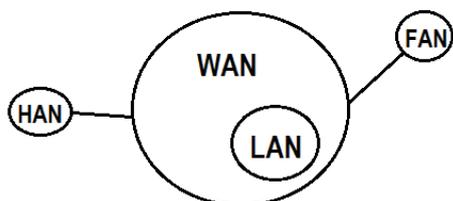


Figura 1: Arquitectura de una Smart Grid

La compleja interacción de los sistemas electrónicos y redes de datos en las redes eléctricas dificultan el diseño de una smart grid. Básicamente el proceso de diseño debe tener en cuenta las características geográficas de los nodos a conectar, los medios de comunicaciones a emplear, esto va relacionado directamente con la estimación de tráfico a cruzar por la red, retardos de red, redundancia, escalabilidad y seguridad ante ataques informáticos. El desempeño de las Smart Grids depende directamente de estos factores, volviendo cruciales los conceptos de seguridad y retardo. Los niveles de atención de los sistemas se ven afectados por el bajo desempeño de estos dos factores, errores de red, por altos niveles de retardo desembocarían en errores de comunicación de los equipos ya sea en subestaciones o en redes FAN hacia los centros de control, disyuntores que no se cierran o abren, bancos de capacitores desconectados, reconectores que no responden a señales de mando, etc. En el caso de la seguridad informática, ataques frontales a nodos o enlaces troncales afectan directamente a dejar sin servicio a amplias zonas geográficas, este tipo de sucesos echan al piso los niveles de disponibilidad del sistema de la red eléctrica, por este nivel importancia, el retardo en la red y la seguridad de esta, son temas esenciales en el diseño de una red eléctrica inteligente.

Adicionalmente a estos requerimientos de diseño, las smartgrids dependen directamente de la compatibilidad entre los equipos de red, ieds, enrutadores, switches, gateways, concentradores de datos, pasarelas seriales, etc. Compatibilidad con protocolos tales como: IEC 61850, IEC 61850-7, IEC 61400-25, IEC 60870-5-104, DNP3, entre otros. Finalmente los factores costo – beneficio son a su vez importantes. Normas como la ANSI/TIA-1005, ANSI/TIA-606-B, ANSI/TIA-862-A exigen altos niveles de calidad en la construcción de infraestructuras de comunicaciones relativas a ambientes industriales. El manejar altos niveles de voltaje y la incompatibilidad electromagnética, dificultan cumplir con estos estándares con medios de comunicación tradicionales como el cobre, tendiendo que hacer uso de la fibra óptica, lo cual encarece el costo de la instalación.

En condiciones geográficas extremas como las que presentan la amazonia sudamericana es necesario tener en cuenta nuevos requerimientos al momento de diseñar redes de comunicaciones sobre redes eléctricas. Los altos niveles de humedad y las mismas condiciones geográficas exigen considerar

el uso de switches industriales resistentes a altas temperaturas y sin partes de refrigeración móviles.

Sobre la red diseñada en [11,15] se recomienda además la aplicación de técnicas de calidad de servicio (QoS), lo cual permita asignar más recursos de red a servicios críticos de operación y gestión de recursos, optimizando así el desempeño de la smart grid.

4. TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES Y REDES DE DATOS

Existen un gran número de tecnologías de comunicaciones implicadas en la transmisión de datos en redes eléctricas inteligentes. A continuación se presenta un breve análisis de un gran grupo de estas técnicas, haciendo énfasis en su uso. Todas las tecnologías de comunicaciones presentadas a continuación hacen referencia a aplicaciones prácticas citadas en las referencias de este trabajo [2,11,15].

4.1. Redes WAN

Uno de los retos más ambiciosos en la evolución hacia las smart grids es la capacidad de interconectar nodos de la red eléctrica geográficamente alejados. Para conseguir este objetivo se han empleado una serie de tecnologías, entre las cuales destacan:

4.1.1. Sonet/SDH

Son redes básicas de transporte digital que permiten la integración de servicios de datos de alta velocidad, SDH se ha adoptado en todo el mundo, ofreciendo la calidad de servicio solicitada para exigentes aplicaciones en tiempo real. Entre sus principales ventajas están: la reducción de equipos necesarios para la multiplexación e adición de tráfico en puntos intermedios, control de tráfico avanzado por modificaciones de la cabecera de tramas, amplia interoperabilidad de equipos comerciales, rápido aislamiento de fallos, soporte a servicios de alta velocidad, entre otros.

4.1.2. WDM/DWDM

Es una tecnología que permite explotar la enorme capacidad de las fibras ópticas de multiplexación, las redes fundamentadas en DWDM pueden transportar distintos tipos de tráfico en diferentes velocidades de más de un canal óptico.

4.1.3. Satellite/VSAT

Es una tecnología que es utilizada en las redes de servicios públicos eléctricos para suministrar conectividad para SCADA y otras aplicaciones como voz, vídeo o datos a los sitios a los que no se puede llegar con otras tecnologías de la comunicación.

4.1.4. Microondas

Es una tecnología que se utiliza en zonas geográficamente de difícil acceso. La tecnología de microondas es una solución flexible y rentable para la transmisión de voz, datos y servicios de video en todas las partes de una red fija o inalámbrica.

4.1.5. Radio digital troncal / Digital trunked radio

Es una tecnología que utiliza ondas electromagnéticas no guiadas para propagar la información, es un tipo complejo de sistema de radio controlada por ordenador, El propósito principal de este tipo de sistema es la eficiencia; muchas personas pueden llevar a muchas conversaciones en pocas frecuencias distintas.

4.1.6. Radios IP

Es la nueva generación de tecnologías para la transmisión de datos a través de radio microondas. Similar a la radio Troncal pero con direccionamiento IP. Radio IP proporciona una manera flexible para ampliar el alcance y mejorar la eficiencia de la tecnología de radio de dos maneras, evitando nuevas inversiones en infraestructura IP. Además, la radio IP proporciona interoperabilidad.

4.2. Redes LAN

Su principal funcionalidad está en comunicar equipos dentro de subestaciones, centros de control, transmisión, subtransmisión y distribución con las redes WAN.

4.2.1. Ethernet

Es una tecnología que ofrece numerosas ventajas que lo convierten en la opción para la automatización de sistemas en las subestaciones tales como mayor versatilidad, compatibilidad y velocidad. Existe una variante conocida como Ethernet Industrial, el cual está orientado

directamente a su uso en ambientes extremos bajo duras condiciones de temperatura, ambiente, ruido, interferencias electromagnéticas.

4.2.2. Gigabit Ethernet GbE/10GbE

Es una extensión del estándar Ethernet IEEE 802.3, aumenta la velocidad de 100 veces más rápido de Ethernet a 10 Gbps.

4.2.3. Wireless Ethernet

Este estándar proporciona robustez, alta velocidad de punto a punto y comunicación de punto a multipunto. El despliegue de las redes LAN inalámbricas ofrece diversos beneficios a través de LAN cableada, ya que es fácil de instalar, ofrece movilidad de los dispositivos, y es menos costoso. Las redes LAN inalámbricas pueden ser consideradas para aplicaciones de redes inteligentes, como la automatización de subestaciones.

4.2.4. Tecnologías de Acceso

El objetivo de la red de acceso principal es conectar a dispositivos remotos. A continuación, se analizan las principales tecnologías de acceso que se pueden aplicar en Smart grid.

PSTN

Es la red pública internacional de basada en cables de cobre que llevan la voz analógica. Se compone de líneas telefónicas, cables de fibra óptica, enlaces de transmisión de microondas, redes celulares, satélites de comunicaciones y cables telefónicos submarinos todos interconectados por centros de conmutación que permite a cualquier teléfono en el mundo para comunicarse con cualquier otro.

xDSL

Es una tecnología de módem mediante líneas telefónicas de par trenzado existentes para llevar a aplicaciones de banda ancha tales como multimedia y de vídeo, ha sido diseñado para conectar a los clientes de teléfonos residenciales que usan el par trenzado con Internet de altas velocidades de conexión de datos.

Cable modem

Un Cable modem es un tipo de puente de red que proporciona una comunicación bidireccional de datos a través de canales de radiofrecuencia, se utilizan principalmente para ofrecer Internet de banda ancha, aprovechando el gran ancho de banda de una red HFC y RFoG.

4.2.5. FTTH

Es una tecnología que proporciona una conexión de fibra óptica de banda ancha a los sitios de consumo. FTTH ha sido la solución preferida de la industria de las telecomunicaciones desde hace décadas, con la promesa de ancho de banda casi ilimitado al usuario doméstico.

4.2.6. Paging Networks

Son sistemas de radio para la entrega de mensajes cortos desde el sistema telefónico o Internet o desde terminales móviles y remotos.

4.2.7. Access BPL

Es una tecnología que lleva la banda ancha el tráfico de Internet a través de líneas eléctricas de media tensión. Teniendo en cuenta que el acceso BPL puede estar disponible junto con la entrega de la energía eléctrica, puede ofrecer una alternativa competitiva a DSL.

4.2.8. Cellular (GSM/CDMA)

Es el Sistema Global para Comunicaciones Móviles, es la tecnología más popular del mundo para los sistemas de telefonía móvil. El uso de la función SMS de un celular digital puede ser utilizado para proporcionar automatización de bajo costo en una subestación para controlar y monitorear el desempeño de esta cuando se necesita pequeñas cantidades de información.

4.2.9. RF Mesh

Es una tecnología que permite medidores y otros dispositivos de detección para acceder a la red de datos de forma segura. La creación de redes de malla RF de múltiples sensores en un establecimiento permite reducir los costos de energía.

4.2.10. WiMax

Es una tecnología inalámbrica que proporciona conexiones de banda ancha de alto rendimiento a

través de largas distancias. Puede proporcionar comunicaciones de larga distancia más allá de 16 km y en algunos casos más allá de 48 km a velocidades de transferencia de datos de 75 Mbps.

4.3. Redes HAN

Son las redes residenciales de área local utilizadas para el seguimiento, control y gestión de los dispositivos dentro del hogar inteligente. A continuación, se analizan las principales tecnologías HAN.

4.3.1. ZigBee

Es la tecnología inalámbrica basada en estándares únicos diseñados para hacer frente a las necesidades únicas de redes de bajo costo, sensores inalámbricos de baja potencia y control. El atractivo principal de ZigBee es su plataforma de estándar abierto que promete la interoperabilidad entre productos y sistemas múltiples.

4.3.2. Wi-Fi

Es una tecnología destinada a ser implementado más en las empresas y en la industria, en particular en la red inteligente, la Wi-Fi Alliance y la Alianza ZigBee han anunciado un acuerdo para colaborar en HAN inalámbrica para aplicaciones de redes inteligentes.

4.3.3. HomePlug

Es una alianza de la industria compuesta por líderes de la industria que trabajan en conjunto para el desarrollo de las especificaciones estándar de la industria de productos de red de línea eléctrica en casa, servicios y contenidos.

4.3.4. 6LowPAN

Es un estándar abierto internacional que permite en el hogar conexión inalámbrica a internet, ofrece las capas de red inferior de una tipo de red de área personal inalámbrica (WPAN) que se centra en bajo costo.

4.3.5. OpenHAN

Es un estándar propuesto para interactuar con el medidor inteligente en residencias y con electrodomésticos en el hogar. Una vez finalizada la aplicación de esta norma, los clientes serán capaces

de tener aparatos que se ejecute automáticamente en los momentos que no son pico y cesar la operación de los aparatos durante los tiempos pico

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las limitaciones tecnológicas de las redes eléctricas tradicionales se ven mejoradas por la inclusión de tecnología electrónica de medición y transmisión de datos a través de las redes de comunicaciones, volviéndolas más eficientes y optimizándolas, dando paso así hacia las smart grids.

La interoperabilidad entre tecnologías de comunicaciones representa una característica esencial a la sinergia entre sistemas de las redes eléctricas inteligentes.

El diseño de una smart grid requiere tener en una cuenta una serie de consideraciones compleja, la cual debe garantizar la correcta operación de todos los servicios que están corriendo por la red de comunicaciones, de manera fiable y robusta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Zhong Fan et al., "Smart Grid Communications: Overview of Research Challenges, Solutions, and Standardization Activities," Communications Surveys & Tutorials, IEEE (Volume:15, Issue: 1), Page 21-38, 11 Januar 2012, ISSN : 1553-877X, doi: 10.1109/SURV.2011.122211.00021.
- [2] Wenye Wang et al., "A survey on the communication architectures in smart grid," Computer Networks, The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Volume 55, Issue 15, 27 October 2011, Pages 3604 - 3629, ISSN: 1389 - 1286, doi:10.1016/j.comnet.2011.07.010.
- [3] Jingcheng Gao et al., "A survey of communication/networking in Smart Grids," Future Generation Computer Systems, Volume 28, Issue 2, February 2012, Pages 391-404, ISSN: 0167-739X, doi:10.1016/j.future.2011.04.014.
- [4] Yan, Ye et al., "A Survey on Cyber Security for Smart Grid Communications," Communications Surveys & Tutorials,

- IEEE (Volume:14 , Issue: 4), pages 998 - 1010, ISSN : 1553-877X, doi: 10.1109/surv.2012.010912.00035.
- [5] Galloway, B. ; Hancke, G.P., "Introduction to Industrial Control Networks," Communications Surveys & Tutorials, IEEE (Volume:15 , Issue: 2), pages 860 - 880, ISSN : 1553-877X, doi: 10.1109/surv.2012.071812.00124.
- [6] Wenye Wang, Zhou Lu, "Cyber security in the Smart Grid: Survey and challenges," Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Volume 57 Issue 5, April, 2013, Pages 1344-1371, ISSN: 1389 - 1286, doi: 10.1016/j.comnet.2012.12.017.
- [7] Gungor, V.C. et al., "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards," Industrial Informatics, IEEE Transactions on (Volume:7 , Issue: 4), pages 529 - 539, ISSN : 1551-3203, DOI: 10.1109/TII.2011.2166794
- [8] Mohamed Daoud X., "On the Communication Requirements for the Smart Grid," Energy and Power Engineering, 2011, 3, 53-60, ISSN : 1949-243X, doi: 10.4236/epe.2011.31008.
- [9] Azari A., "Survey of Smart Grid from Power and Communications Aspects," Middle-East Journal of Scientific Research, 2014, 21, 1512-1519, ISSN : 1990-9233, doi: 10.5829/idosi.mejsr.2014.21.09.21700.
- [10] Budka K.C. et al., "Communications Networks for Smart Grids, Making Smart Grid Real," Springer, Computer, Communications and Networks, 2014, ISSN 1617-7975, ISBN 978-1-44-71-6301-5.
- [11] Bojkovic Z. et al., "Smart Grid Communications Architecture: A Survey and Challenges," Recent Researches in Applied Computers and Computational Science, ACACOS'12 Proceedings of the 11th WSEAS international conference on Applied Computer and Applied Computational Science, Pages 83-89 ISBN: 978-1-61804-084-8.
- [12] Elzengui Saida et al., "The Enhancement of Communications Technologies and Networks for Smart Grid Applications," International Journal of Emerging Trends and Technology in Computer Science, Pages 107-115, ISBN: 2278-6856.
- [13] Dehalwar V. et al., "Cognitive Radio Application for Smart Grid," International Journal of Smart Grid and Clean Energy, Pages 79-84, ISBN: 2315-4462.
- [14] Richard Zurawski, "The Industrial Communication Technology Handbook," CRC Press, Taylor and Francis Group, Series: Industrial Information Technology, ISBN 9780849330773 - CAT# 3077.
- [15] Kenneth C. Budka et al. , "Communications Networks for the Smart Grids", Springer, 2014, ISSN: 1617-7975, ISBN: 978-1-4471-6301-5.



Roberto Herrera Lara.- nació en Quito, 1985, estudios de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador y Maestría en Ciencias de las Técnicas de la Información en la Universidad Politécnica de Mannheim, Alemania. Ha colaborado con eventos internacionales en India, Polonia, Slovakia y Tunisia. Miembro del Grupo SIDIEC y la Asociación AMARUN. Es especialista en Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.



Luis Herrera Lara.- nació en Quito 1991, estudios de Ingeniería en Electrónica y Redes de la Información en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador. Miembro del Grupo SIDIEC. Sus intereses abarcan las Redes de Datos, Sistemas Operativos y Sistemas de Comunicaciones Industriales.